

**А.В.КУПРИЯНОВ**, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ, СОБИРАЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГРЕВА**

Проведене моделювання змінного температурного поля і термоупругого стану елементів вагонної колісної пари в процесі складання з індукційним нагрівом. Отримані характеристики спільної деформації деталей дозволяють обґрунтовано призначати складальний технологічний розмір.

The design of the variable temperature field and thermoelastic state of elements of the carriage wheeled couple in the process of assembling with the induction heating is conducted. The descriptions of joint deformation of details allow to appoint an assembling technological dimension.

### **1 Предмет исследования**

Железнодорожные колесные пары являются изделиями ответственного назначения, в которых колеса с осью соединены по посадке с натягом. Одной из технологий их сборки является тепловая, при которой нагретые колеса свободно устанавливаются на ось за счет временного сборочного зазора. После совмещения посадочных поверхностей колеса и оси, вследствие перераспределения тепла между деталями и их остывания, происходит скрепление. При этом размер между торцами ободов колес должен быть  $1440^{+1}_{-3}$  мм, а разноразмерность выхода торцов оси за ступицы колес должна быть не более 3 мм (рис. 1).

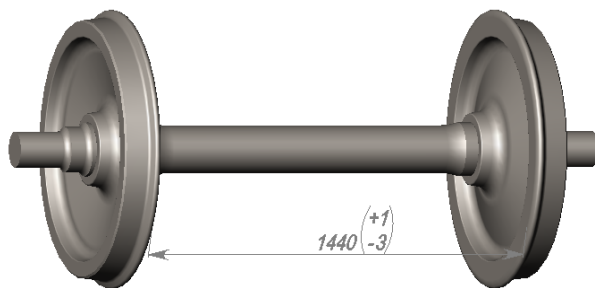


Рисунок 1 – Модель железнодорожной колесной пары

Процесс сборки включает четыре этапа: 1) нагрев колес; 2) перемещение колес от нагревательного устройства к сборочному стенду и установка их на ось; 3) перераспределение тепла и скрепление колес с осью; 4) остывание собранной колесной пары [1].

С целью экономии энергии используется локальный индукционный на-

грев ступицы колес. На рис. 2 показана схема индукционного нагревателя и участки колес 1, 2, 3 и 4, которые нагреваются с разной интенсивностью. Вследствие неравномерного нагрева в колесе возникают напряжения, которые приводят к его деформации. В деформированном состоянии колесо находится в течение последних 3-х этапов процесса сборки. При деформировании колеса внутренний торец обода 5 (рис. 2) смещается относительно внутреннего торца ступицы в направлении увеличения размера А. Ось нагревается и так же деформируется. После сборки и полного остывания колесной пары форма колес возвращается к первоначальной.

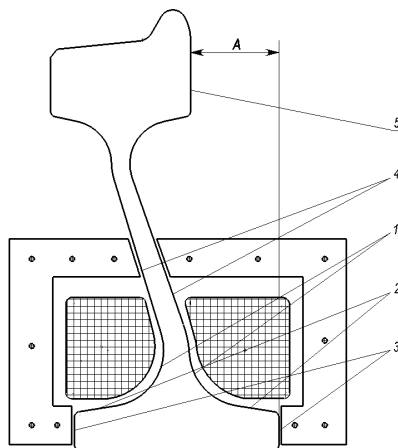


Рисунок 2 – Схема профиля индукционного нагревателя и колеса

Обычно сборка изделий с нагретыми или охлажденными деталями требует пересчета конструкторских размеров относительного положения деталей на технологические, учитывающие технологические деформации. В некоторых случаях изменение деформации деталей следует учитывать при расчете временных параметров технологии сборки. У колесной пары сборочный технологический размер между торцами колес должен отличаться от конструкторского  $1440^{+1}_{-3}$ . Его величина должна быть такой, чтобы после остывания и возвращения деталей к первоначальной форме, размер между торцами ободов равнялся требуемому. Целью исследования являлось получение величины технологического размера между внутренними торцами ободов колес при сборке. Это предусматривает решение задачи термоупругости элементов колесной пары.

В качестве объекта исследования принята вагонная колесная пара с цельнокатаным железнодорожным колесом по ГОСТ 9036-88 и осью по ГОСТ 22780-77. Материал колеса – сталь 2 ГОСТ 10791-2004. Свойства ма-

териала: модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,28$ , предел текучести 620 МПа, коэффициент температурного расширения  $\beta = 1,29 \cdot 10^{-5}$  град $^{-1}$ , теплопроводность 50 Вт/м °С. Температура окружающей среды  $T = 20$  °С. Допустимая температура нагрева – 320 °С.

## 2 Размерная цепь

Поскольку торец 5 обода колеса вследствие температурных деформаций смещается в направлении к наружному торцу ступицы, то размер между торцами ободов после сборки оказывается меньше конструкторского размера  $1440_{-3}^{+1}$ . Линейная размерная цепь вдоль оси колесной пары имеет вид, показанный на рис. 3. Замыкающее звено - конструкторский размер  $A_{\Delta}$ . Цепь включает сборочный технологический размер  $\bar{A}_c$  - увеличивающее звено и уменьшающие звенья:  $\bar{A}_{кл}$ ,  $\bar{A}_{кп}$  - деформации левого и правого колес;  $\bar{A}_{ол}$ ,  $\bar{A}_{оп}$  - удлинение оси от тепла, поступившего от посадки левого и правого колес соответственно.

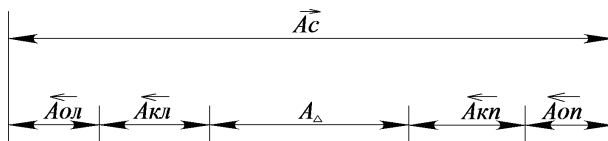


Рисунок 3 – Размерная цепь по оси колесной пары в процессе сборки

Деформации колес  $\bar{A}_{кл}$ ,  $\bar{A}_{кп}$  максимальны в момент окончания нагрева колес, а затем уменьшаются. Звенья  $\bar{A}_{ол}$  и  $\bar{A}_{оп}$  возникают как временные. Они близки к нулю в момент базирования колес на оси, затем их величина нарастает до максимального значения, а потом уменьшается до нуля вместе с остыванием колесной пары.

Для базирования колес вдоль оси необходимо использовать специальные упоры. Сборочный стенд может быть сконструирован так, что упоры для колес сразу убираются. В этом случае звенья  $\bar{A}_{ол}$  и  $\bar{A}_{оп}$  никак не влияют на точность получаемого размера, поскольку в момент базирования отсутствуют.

Можно использовать не убираемые, подпружиненные упоры. Последние предпочтительнее, так как исключают необходимость в наличии механизма. Фактически процесс базирования колес вдоль оси становится переменным, так как вследствие уменьшения деформации колеса «сползают» с оси и звено  $\bar{A}_c$  учитывается в момент скрепления соединения. В этом случае  $\bar{A}_{ол}$  и  $\bar{A}_{оп}$  участвуют в размерной цепи со значением, близким к максимальному.

Аналитический расчет данной размерной цепи сопряжен с использованием переменных звеньев, закон изменения размеров которых не известен. Это приводит к большим погрешностям, поэтому было проведено математическое моделирование методом конечных элементов.

В качестве геометрического моделиера использовалась программа SolidWorks 2009. Задача термоупругости решалась методом конечных элементов средствами SolidWorks Simulation 2009.

### 3 Моделирование нагрева колес

Для моделирования процесса формирования колесной пары воспользуемся экспериментальными данными, приведенными в [1, §4]. Время нагрева составляло 3,5 мин., температура контролировалась термопарами в 8 точках-узлах, их положение показано на рис. 4. Из них первые три точки располагались на подступичной части оси на глубине 10 мм от поверхности, а остальные пять - на колесе. Значения температур в момент окончания нагрева, приведены в таблице.

Значения температуры в точках расположения термопар

	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Точка 7	Точка 8
Температуры в точках в момент окончания нагрева, °С, эксперимент	20	20	20	225	310	280	150	30
Температуры в точках в момент окончания нагрева, °С, моделирование	20	20	20	218	286	251	157	27
Температуры в точках в момент «схватывания» колеса с осью, °С, через 4 мин. с начала сборки, эксперимент	100	70	70	192	225	185	120	35
Температуры в точках через 4 мин, °С, моделирование	95	70	74	194	213	190	110	36

Моделирование температурного поля состояло в том, что к участкам поверхности колеса прикладывался тепловой поток, эквивалентный нагреву от переменного магнитного поля. Величина и расположение теплового потока подбирались таким образом, чтобы получить модель температурного поля,

максимально близкого к экспериментальному. В результате был подобран режим нагрева, при котором тепловой поток на поверхностях 1, 2 (рис. 2) равен  $130 \text{ кВт/м}^2$ , на поверхностях 3 -  $80 \text{ кВт/м}^2$ , а на поверхностях 4 -  $35 \text{ кВт/м}^2$ . Максимальная температура при этом составила  $319^\circ\text{C}$ , а температуры в момент окончания нагрева в местах расположения термопар приведены в таблице. Сечение колеса с полученным температурным полем изображено на рис. 4.

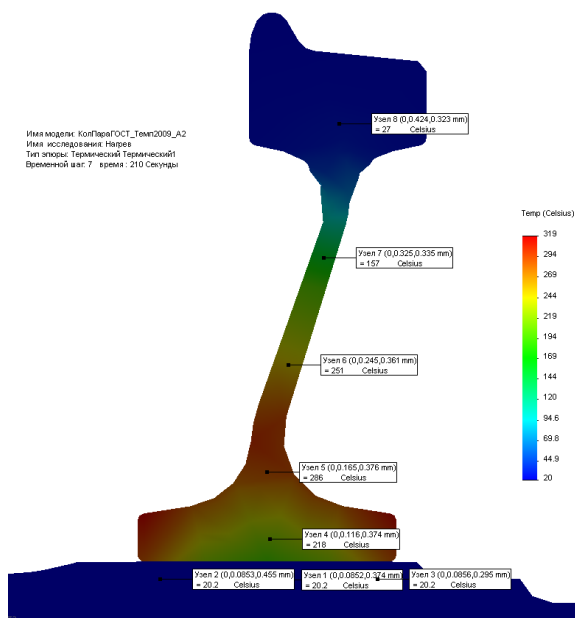


Рисунок 4 – Расположение точек и температурное поле в момент окончания нагрева

На этапе нагрева колес они находятся отдельно от оси на рис. 4 показано совмещенное изображение. Это связано с особенностью программного продукта, для которого модель не может меняться геометрически. В процессе моделирования нагрева и перемещения колес из нагревателя на сборку их тепловое взаимодействие с осью отсутствовало.

#### 4 Моделирование остывания колесной пары

Перемещение колеса и установка его на ось в среднем занимают 1 мин. При моделировании температурное поле, полученное в момент окончания нагрева, принималось в качестве начального для этого этапа. Полученное температурное поле колес и оси показано на рис. 5.

Температурное поле, полученное после окончания установки колес на ось колесной пары, принималось за начальное в процессе моделирования остывания соединения. В дальнейшем тепло перераспределяется по материалу

колеса, переходя от более нагретой ступичной части через тонкую дисковую часть к холодному ободу. Тепло так же переходит через сборочный зазор в железнодорожно-рожную ось, а незначительная его часть рассеивается в атмосферу. Величина конвективного теплообмена на поверхностях колеса принималась  $10 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

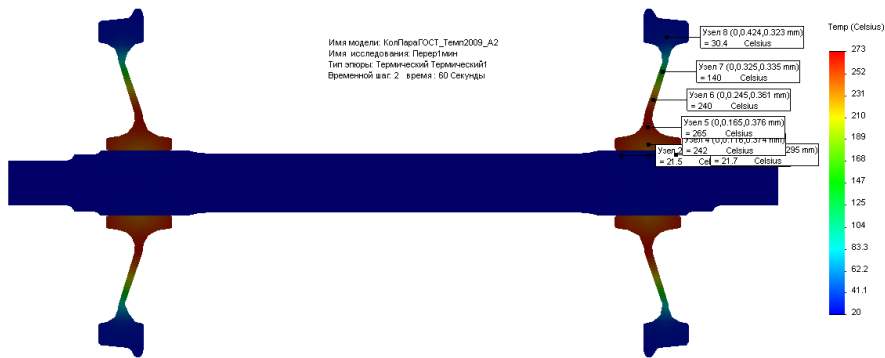


Рисунок 5 – Температурное поле в момент базирования колес

Значения температур, полученные экспериментально [1], в момент «скрепления» колеса с осью, через 4 минуты после окончания установки, приведены в таблице.

Задача аналитического описания теплопередачи в зазоре между ступицей и осью в литературе не приводится. Причиной этого является ее сложная зависимость от технологических факторов, например, шероховатости, и быстрое изменение ее величины. С уменьшением зазора теплопроводность растет из-за уменьшения величины воздушной прослойки и увеличения площади металлического контакта. В среднем в процессе скрепления деталей, по данным [2], коэффициент теплопроводности колеблется от 460 до  $16150 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

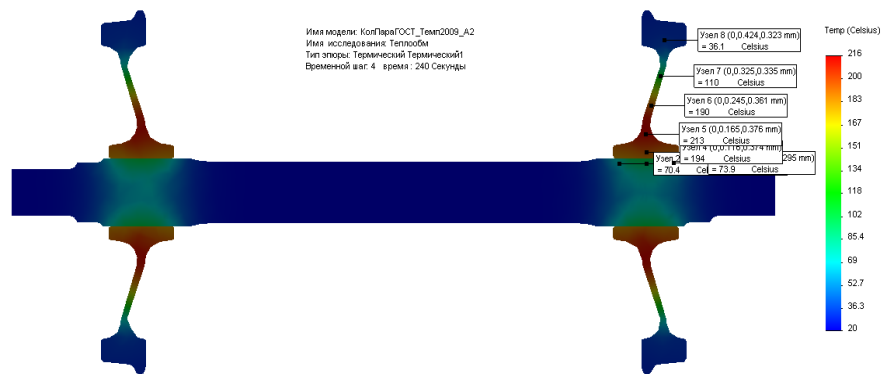


Рисунок 6 – Температурное поле колесной пары в момент скрепления колес с осью

С целью получения при моделировании температурного поля, максимально близкого к экспериментальному. Величина контактного термического сопротивления сборочного зазора так же подбиралась. Температурное поле через 4 мин. после окончания установки изображено на рис. 6; значения температуры в точках приведены в таблице. При этом величина теплопроводности через сборочный зазор равнялась  $330 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ .

## 5 Величина деформации колесной пары и технологические рекомендации

При моделировании процесса деформаций деталей колесной пары за базу принимался внутренний торец обода правого колеса. Полученная деформация в осевом направлении в момент базирования, которое было выполнено через 1 мин. после окончания нагрева, показана на рис. 7. Из рисунка видно, что удлинение подступичных частей вала незначительно по сравнению с деформацией колес.

Полученная деформация суммирует все составляющие звенья размерной цепи и фактически отображает разницу между сборочным технологическим размер  $A_c$  и замыкающим звеном - конструкторским размером  $A_d$ .



Рисунок 7 – Деформация колесной пары в осевом направлении в момент базирования

Зависимость уменьшения деформации с течением времени показана на рис. 8. Полученные моделированием величины деформации на 0,3-1 мм выше полученных экспериментально [1], где при сборочном технологическом размере 1443 мм размеры колесных пар составляли 1440-1440,5 мм для времени скрепления от 2 до 9 мин.

Полученной зависимостью можно пользоваться для обоснованного назначения сборочного технологического размера при сборке вагонных колесных пар. В случае использования убирающихся упоров деформация принимается на момент базирования колес, то есть в нулевой момент времени. В слу-

чае использования неподвижных подпружиненных упоров деформация принимается в момент скрепления, поскольку фактически вплоть до момента скрепления базовый размер меняется, т.к. происходит «сползание» колес с оси. Величину деформации колесной пары нужно прибавлять к конструкторскому размеру.

Для уменьшения разброса времени скрепления необходимо стабилизировать сборочный зазор. Может быть два направления решения:

- 1 Назначать время нагрева под фактический натяг [2].
- 2 Подбирать детали в сборочный комплект [3].

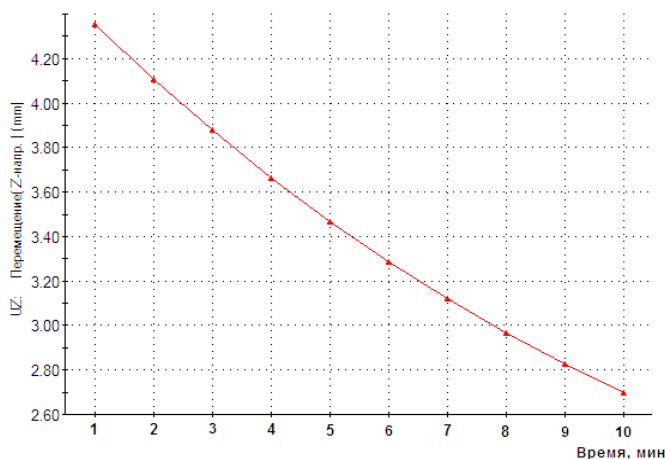


Рисунок 8 – Зависимость изменения расстояния между внутренними торцами ободов от времени

### Выводы:

- 1 Предложены зависимости для определения сборочного технологического размера, обеспечивающего требуемую точность положения колес на оси колесной пары железнодорожного транспорта после ее сборки с нагревом.
- 2 Даны рекомендации по настройке сборочных стендов с убирающимися упорами и с пружинными.
- 3 Задача определения технологических размеров для изделий, собираемых с термовоздействием, достаточно точно может моделирована методом конечных элементов средствами SolidWorks Simulation 2009.

**Список литературы:** 1. Андреев Г.Я. Тепловая сборка колесных пар. – Харьков: Издательство Харьковского университета, 1965. – 227 с. 2. Зенкин А.С. Арпентьев Б.М. Сборка неподвижных соединений термическими методами. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с. 3. Куприянов А.В. Комплектование при сборке с подбором деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – №11. – С. 8-10.

Поступила в редколлегию 23.06.2009